

GARANTIA DA QUALIDADE GEOMÉTRICA DAS TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

Thiago Linhares Fernandes

Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (CERTI)
thf@certi.org.br

Christian Raffaelo Baldo

Universidade Federal do ABC (UFABC)
crhristian.baldo@ufabc.edu.br

Tiago Muner Zilio

Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (CERTI)
tmz@certi.org.br

Gustavo Daniel Donatelli

Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (CERTI)
gd@certi.org.br

Resumo. O conceito de Indústria 4.0 e suas tecnologias habilitadoras têm impulsionado a transformação digital da manufatura, conectando sistemas físicos e virtuais. Neste sentido, a indústria de tubulações (spools) pode fazer uso de tecnologias que, fundamentadas no computador e em rede, proporcionam mais valor para os processos. Neste trabalho, é explorado o uso de um gêmeo digital para garantia da qualidade geométrica de tubulações industriais. Para tanto, dados são reunidos, armazenados e estruturados em um ambiente de gestão do ciclo de vida do produto. A partir desses dados, foi criada uma representação válida e abrangente da geometria de um spool-teste e de seus componentes, viabilizando a construção de um modelo de análise de variações, a fim de prever as quantidades e as causas de variação. Os resultados obtidos suscitam a possibilidade da adoção de uma entidade virtual para garantia da qualidade geométrica de tubulações industriais, favorecendo o aumento da integridade dos spools.

Palavras chave: Garantia da Geometria. Análise de Variações. Indústria 4.0. Gêmeo Digital. Tubulações Industriais.

1. INTRODUÇÃO

Em função da crescente digitalização da manufatura, sustentada por tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, os processos de desenvolvimento de produtos estão passando por mudanças e/ou adaptações que proporcionam um ambiente de produção conectado digitalmente. Da mesma maneira, as fábricas de tubulações podem ser beneficiadas com iniciativas que provoquem modificações nas práticas atuais, a fim de favorecer a produtividade da cadeia de tubulações, bem como elevar a competitividade da indústria.

Para tanto, é fundamental que as variações geométricas dos subconjuntos (spools) que formam uma linha de tubulações sejam consideradas, identificadas e controladas, proporcionando ganhos para as etapas de fabricação e montagem. O processo de gestão e garantia da geometria dos spools vai ao encontro da melhoria da qualidade e integridade das tubulações industriais.

A gestão das variações geométricas e a garantia da geometria descrevem todos os esforços relacionados ao controle e minimização dos efeitos dos desvios geométricos da peça na qualidade do produto durante todo o seu ciclo de vida (Schleich, *et al.*, 2018), principalmente considerando variações inevitáveis nos processos de fabricação e montagem. De outra maneira, a gestão das variações geométricas pode ser entendida como o conjunto de atividades relacionadas ao controle de desvios geométricos e seus efeitos sobre a qualidade do produto durante o seu ciclo de vida (Schleich, 2017). Neste sentido, as atividades de garantia da geometria podem ser encontradas nas diferentes etapas do ciclo de desenvolvimento do produto (Söderberg, *et al.*, 2016).

Para que esse conjunto de atividades ocorra de forma sinérgica, a Indústria 4.0 estabelece uma amálgama entre a manufatura e as tecnologias de gestão dos processos e integração da equipe, isto é, avançadas tecnologias da informação e comunicação (TIC). Para tanto, adotando mecanismos que permitem a conexão entre o ambiente físico e o virtual.

Posto isso, no contexto da Indústria 4.0, as atividades de garantia da qualidade geométrica do spool são suportadas de forma digital, através de ferramentas computacionais, softwares e experimentos virtuais, com o intuito de mitigar e controlar os efeitos das variações geométricas.

1.1 Problemas da qualidade dimensional na cadeia de spools

Um *spool* é um subconjunto de uma linha, formado por pelo menos uma conexão e um trecho de tubo (Peng e Peng, 2009) e é encontrado em diversas partes nas instalações de produção e processamento do setor de Óleo e Gás (O&G). Os *spools* são fabricados em diferentes níveis da cadeia de fornecimento do setor de O&G e montados entre si e com outras partes de equipamentos, utilizando processos de soldagem ou fixação mecânica.

Em geral, a cadeia de fabricação de tubulações industriais utiliza processos convencionais e carece de elevado nível de padronização, em que a qualidade final depende em grande parte das habilidades e do nível de capacitação do pessoal envolvido durante as etapas do processo. Esses fatores fazem com que os produtos nesse ramo apresentem desvios significativos da qualidade, o que, via de regra, não é diferente para a indústria brasileira.

A realidade no dia a dia das etapas de fabricação e montagem de *spools* apresenta problemas como projetos de tubulação inconsistentes e planejamento da montagem sem integração com a instalação dos suportes. Esses resultam em danos severos para a produtividade em função dos custos associados a retrabalho em campo e mudanças tardias no projeto. Não é incomum que os *spools* fabricados por empresas brasileiras apresentem desvios significativos com referência à geometria desejada, que devem ser corrigidos na montagem, em condições mais precárias que aquelas nas quais o *spool* fora produzido. Esses retrabalhos geram atrasos na entrega das obras, além de possíveis prejuízos à integridade do *spool* e da instalação que o utiliza.

Do ponto de vista dimensional e geométrico, cada um dos componentes de um *spool* apresenta variações que, quando não controladas, podem comprometer a montagem das tubulações e, em último estágio, impedindo o processamento de energia.

1.2 Escopo do trabalho

O advento de tecnologias avançadas, como sistemas ciberfísicos, computação em nuvem, simulação e gêmeos digitais, é promissor para o aumento da qualidade do *spool*, melhorando processos e diminuindo custos. Particularmente, o uso do gêmeo digital é apresentado e explorado neste trabalho, por ser uma representação válida da realidade e, com isso, como um modelo de simulação, permite o processamento de dados que levam a previsões importantes durante o ciclo de vida do produto. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é apresentar o uso do gêmeo digital para garantia da qualidade geométrica dos *spools*, destacando suas funcionalidades que contribuem para o desenvolvimento de um projeto robusto.

2. O GÊMEO DIGITAL

O gêmeo digital é um equivalente físico e funcional que, hábil para incorporar um modelo da realidade, tem a capacidade de realizar análises e simulações (experimentos virtuais), utilizando dados estruturados relevantes para o processo (Fernandes, 2020). Dessa forma, o gêmeo digital pode ser colocado como uma tecnologia facilitadora para a gestão das variações geométricas. Para tanto, o modelo de simulações desenvolvido deve operar, a partir de uma finalidade pré-estabelecida, incorporando modelos da realidade e fazendo uso de dados estruturados, viabilizando um equivalente físico (gêmeo digital) capaz de realizar experimentos virtuais e análises sobre o ambiente físico.

A Fig. 1 destaca a interação entre as diferentes partes que viabilizam a arquitetura e a evolução de um gêmeo digital. Assim, essa entidade virtual, estabelecida no computador, faz uso de dados e informações como entrada para ferramentas de simulação que, munidas de modelos e técnicas de análises, permitem gerar conhecimento sobre um produto ou sistema.

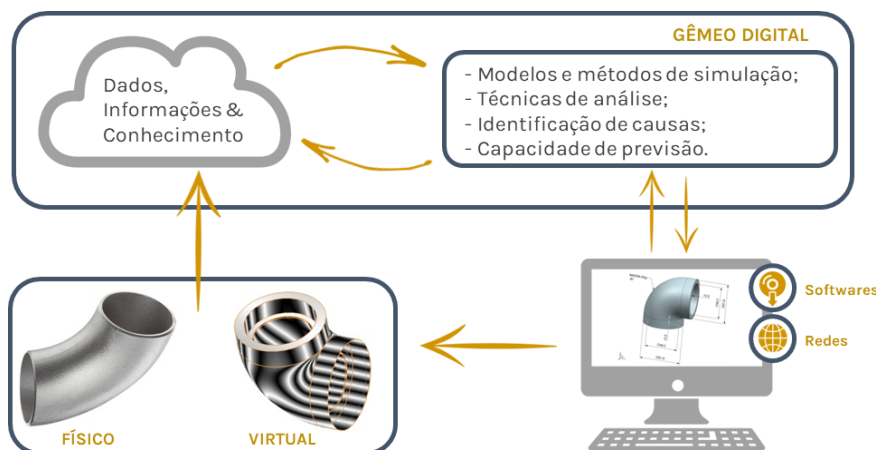


Figura 1. Concepção de um gêmeo digital para garantia da qualidade geométrica de acordo com Fernandes (2020).

O propósito de um gêmeo digital é poder projetar, testar, experimentar, fabricar e, principalmente, obter respostas sobre o espaço físico fazendo uso de um equivalente virtual. De posse dessa cópia digital, é possível compreender se o que fora idealizado na etapa de projeto está em consonância com as demais etapas ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto, viabilizando a fabricação e a medição (controle) do produto. Dessa forma, antecipando potenciais problemas, reduzindo custos, tempos e retrabalhos.

De fato, um gêmeo digital geralmente se refere a uma descrição física, funcional e abrangente de um componente, produto ou sistema, que inclui o quão máximo de informações úteis nas fases atuais e subsequentes do ciclo de vida (Rosen, *et al.*, 2015). Além disso, fazendo eco a Rosen, *et al.* (2015), o gêmeo digital é um conceito altamente dinâmico que cresce em complexidade ao longo do ciclo de vida. Assim, a simulação e a transferência contínua de dados entre as fases do ciclo de vida do produto são fundamentais para suportar esse conceito. A conexão e interação entre sistemas favorece a análise de dados para prevenção de falhas, mitigando riscos e custos ao longo do ciclo de desenvolvimento do produto. Para mais, o aumento da disponibilidade de dados também favorece novas possibilidades para melhorias nos sistemas de manutenção e serviços relacionados (Roy, *et al.*, 2016), o que promove a integração da cadeia de valor, gerando entradas para melhoria contínua de equipamentos e processos, assim como o aumento da segurança operacional.

2.1 O gêmeo digital para projeto de tubulações industriais

O gêmeo digital de tubulações industriais é germinado na etapa de projeto, na qual o produto e o conceito de produção são desenvolvidos. Ou seja, na etapa de projeto, diferentes conceitos de *spools* são criados e seus respectivos gêmeos digitais dão suporte para definição dos conceitos de produção correspondentes.

A criação do gêmeo digital na etapa de projeto é importante para assegurar que a qualidade final de um projeto possa ser prevista antes que o produto físico seja fabricado. Isso pode ser realizado construindo um gêmeo digital a partir do dado CAD contendo as informações geométricas necessárias (por exemplo, tolerâncias) e vinculando-o a um software PLM (Frankel, 2015), em que a estrutura do produto na lista de materiais (BOM – *Bill of Material*) e uma descrição básica do processo são apresentadas.

Em função da magnitude e complexidade que envolve um projeto de tubulações industriais, a etapa de projeto alcança uma variedade de conceitos de *spools*, o que muitas das vezes dificulta a tomada de decisão em adotar ou selecionar uma formulação que contemple diferentes critérios envolvidos, levando a trivialidade de algumas soluções, ocasionando em problemas que vão desde a liberação imatura das tubulações para fabricação e montagem até os índices de retrabalho em empreendimentos de O&G.

Dessa forma, na premissa de mitigar o efeito da variação, essa entidade virtual visa a contribuir com o desenvolvimento de projetos robustos, distribuir e validar tolerâncias e, além disso, busca colocar-se à disposição para suportar funcionalidades posteriores ao longo do ciclo de vida do produto. À vista disso, contribui com a validação dos conceitos de *spools*, analisando e melhorando os conceitos para suportar o efeito da variação dimensional no nível dos componentes (tubos, curvas, flanges etc.). Para isso, realizando experimentos virtuais a partir de dados de produção disponíveis e confiáveis.

Quando os critérios relacionados ao conjunto de *spools* montados são conhecidos, o resultado previsto pode ser comparado aos requisitos da linha e a capacidade do processo pode ser determinada. Com isso, ao simular o processo de fabricação e montagem dos *spools*, é possível identificar e solucionar possíveis interferências e, a partir desses resultados, propor modificações no projeto, antes que o *spool* seja fabricado.

Embora as atividades de garantia da qualidade geométrica sejam necessárias ao longo das diferentes fases do ciclo de desenvolvimento do produto, a criação do gêmeo digital na etapa de projeto é uma ação fundamental para assegurar que as etapas posteriores sejam beneficiadas. Pois, embora essa entidade virtual consuma dados, ela também cria novos dados que contribuem com as etapas de pré-fabricação e fabricação de *spools*.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar o objetivo deste trabalho foi conduzido um plano de experimentação virtual, criando e utilizando um protótipo digital 3D capaz de emular variações dimensionais e geométricas em um ambiente integrado ao ciclo de vida do *spool*.

3.1 Software adotado para simular variações

Para simulação computacional foi adotado o software Siemens CAE VisVATM – *Visualization Variation Systems Analysis*, cujo pacote gráfico executa uma série de experimentos virtuais, com base nas características (*features*) e nos metadados do modelo matemático CAD. O pacote de CAE VisVATM utiliza técnica estocástica de simulação, para prever a totalidade de variações que podem ocorrer numa dada peça ou montagem.

A ferramenta VisVATM fornece recursos que viabilizam a criação de protótipos digitais dedicados a representar as variações de peças, produtos e processos e, portanto, pode ser usada para: (1) prever as quantidades e causas de

variação; (2) validar e otimizar peças, produtos e processos; (3) identificar dimensões críticas para montagem; (4) contribuir com a redução de custos, melhorando a qualidade e assegurando o grau de maturidade do projeto.

3.2 Dados de entrada para construção do gêmeo digital

O protótipo 3D foi construído a partir de um modelo CAD 3D que contempla um conjunto de informações e especificações do produto. Os requisitos de fabricação (dados de tolerância) dos componentes do *spool* foram inseridos no modelo 3D, de tal maneira que permita a reutilização das informações ao longo do ciclo de vida do produto. Em outras palavras, foram armazenadas no arquivo CAD as informações de dimensão e tolerâncias, que tipicamente são adotadas no projeto e fabricação de tubulações industriais.

Na Fig. 2 é possível observar algumas das anotações 3D que o modelo carrega. Essas informações, obtidas via normas e documentos relevantes, são fundamentais para que as simulações e análises sejam realizadas.

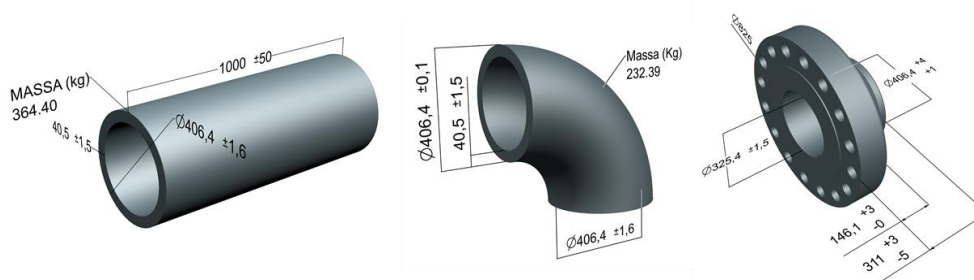


Figura 2. Dados de dimensão e tolerância inseridos no protótipo digital.

3.3 O spool de teste

O *spool* de teste foi modelado com base em normas e documentos vigentes do setor de O&G. Para tanto, foi selecionado para o estudo de impacto das variações dimensionais um *spool* que apresenta atributos relevantes para o setor de O&G, em função de suas características construtivas, material, geometria e tipo de junta.

O *spool* de teste apresenta diâmetro externo nominal de 16" (NPS 16), é confeccionado em aço-carbono e suas juntas são do tipo topo. Esse *spool*, apresentado na Fig. 3, possui características de interesse como objetos de estudo para transformação digital por ser representativo, em termos quantitativos, em empreendimentos de O&G.

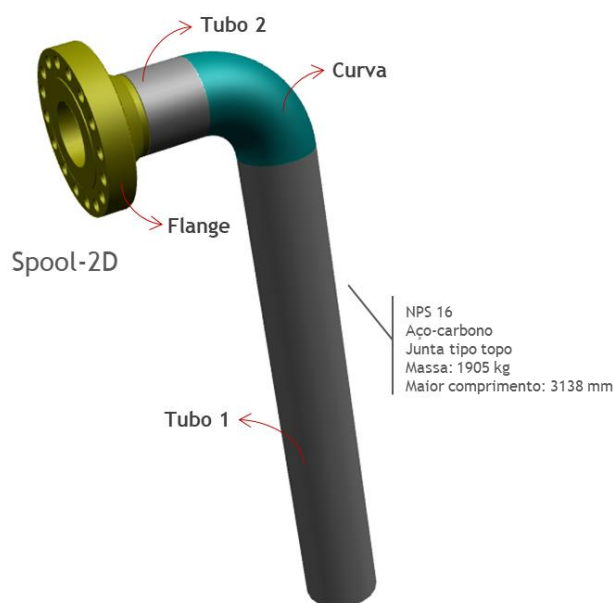


Figura 3. *Spool* de teste.

O *spool* de teste, identificado como Spool-2D, apresenta mais de um tubo, uma flange e uma curva. Por conter uma curva dentre os seus componentes, essa tubulação apresenta mais de uma derivação, o que condiciona o fluxo em duas direções.

3.4 Modelamento e simulação

O *spool* de teste foi modelado no software CAD Siemens NX™, integrado ao ciclo de vida do *spool*. Isto é, o modelo 3D do *spool* de teste apresentado e seus respectivos componentes (tubos, curvas e flanges) foram gerados em uma plataforma de gestão do ciclo vida do produto (Teamcenter® – Siemens PLM), favorecendo o fluxo de dados, informações e conhecimentos entre as diferentes etapas de desenvolvimento do produto e beneficiando os meios de simulação.

De posse do modelo matemático CAD, contendo um conjunto de informações e especificações necessárias para simulação dimensional, foi feita a importação do mesmo (em formato JT) para a ferramenta de simulação VisVA™, dando início ao processo de criação do protótipo digital de análise de variações.

Ao importar o arquivo CAD para a ferramenta VisVA™, o modelamento foi iniciado, com foco no estudo de impacto das variações. Para tanto, com o auxílio da geometria 3D, foram selecionadas as *features* de interesse que representam, da forma o quão mais abrangente, a geometria dos componentes do *spool*. Essas *features* são características relacionadas à geometria e, sendo assim, consomem os dados de dimensão e tolerância, essenciais para o desenvolvimento da simulação.

O modelo desenvolvido faz uso de simulação estatística pelo Método de Monte Carlo (MMC). Ao iniciar uma simulação, o protótipo digital 3D de análise de variações faz uso dessa técnica estocástica, a fim de prever a totalidade de variações que podem ocorrer, na medida em que os componentes do *spool* são unidos entre si.

4. EXPERIMENTAÇÃO VIRTUAL

O planejamento experimental foi desenvolvido para testar que, de posse de um gêmeo digital para garantia da qualidade geométrica, é possível prever e observar o impacto da variação na qualidade dimensional de tubulações industriais. Para tanto, foi escolhido um *spool* de teste e adotado um plano experimental que visa a observar e analisar desvios típicos em tubulações industriais, conforme ilustra a Fig. 4, que apresenta uma visão dedicada às variações que ocorrem em *spools* como o de teste (Spool-2D).

Componentes	Alinhamento Nominal	Desvio Excentricidade	Desvio Angular
Tubo vs. Tubo			
Tubo vs. Curva			
Tubo vs. Flange			

Figura 4. Desvios típicos em tubulações industriais entre componentes de um *spool*.

Dessa forma, foram avaliados desvios associados à dimensão, à orientação e à localização dos componentes do Spool-2D.

4.1 Configuração da simulação

As simulações foram configuradas para que os relatórios obtidos apresentem a porcentagem com que cada um dos componentes do *spool* contribui para variação total, envolvendo os dados de tolerância que incluem localização, tamanho e orientação.

O número de repetições durante uma simulação está associado à qualidade dos resultados esperados. Para tanto, foi adotado $n = 2,2 \cdot 10^5$, pois dessa forma a probabilidade de abrangência desejada é da ordem de 95,45% (Albertazzi e Souza, 2018). Para composição dos histogramas, foram adotados os limites $\pm 3\sigma$, para avaliar a consistência (previsibilidade) do respectivo processo em análise, a qual denota uma condição a ser atendida para a posterior análise de capacidade.

Para exprimir numericamente a capacidade do processo, foram adotados os índices C_p e C_{pk} que, respectivamente, correspondem à capacidade bilateral e à capacidade para processos não centrados. Esses índices foram adotados por utilizarem a variabilidade de curto prazo, na qual se manifestam apenas a variação inerente ao processo (causas comuns).

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os requisitos de interesse para análise neste trabalho estão descritos como Req-1, Req-2 e Req-3 e tratam, respectivamente, da distância face a face dos *spools*, do alinhamento da junção e do ângulo de inclinação do flange em relação à linha de centro da tubulação. Os resultados obtidos são percorridos a partir das curvas de distribuição que descrevem o comportamento do processo e, também, dos relatórios que descrevem os agentes de contribuição para variação.

A Fig. 5 apresenta o resultado obtido para simulação do Req-1, que trata da distância face a face entre as extremidades do tubo e do flange.

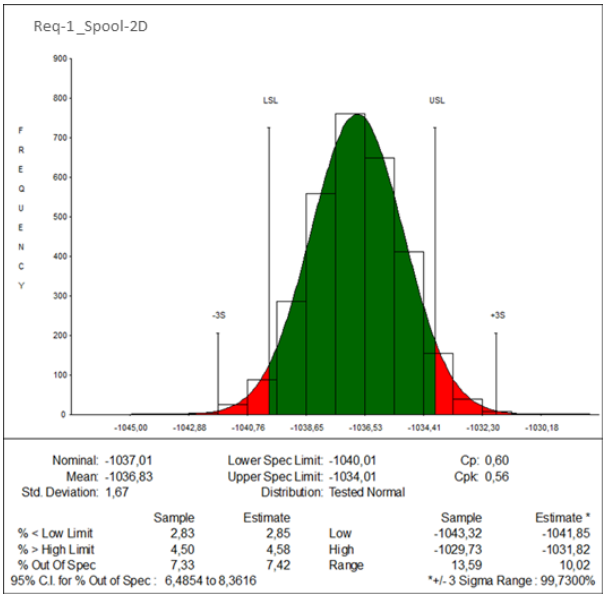


Figura 5. Distância face a face do *spool* de teste.

Da Fig. 5 destaca-se que o processo apresenta $C_p = 0,60$ e o percentual estimado da amostra fora da especificação foi de aproximadamente 7,4%. Para o Req-1 do Spool-2D, o principal contribuinte para a variação total é a orientação da curva, que causa 29% de impacto na variação total. De acordo com os resultados obtidos, a distribuição está centrada ($C_p = 0,56$), mas a variação é maior que a faixa definida pelos limites de tolerância.

A Fig. 6 apresenta o resultado obtido para simulação do Req-2, isto é, alinhamento da junção, que corresponde à excentricidade entre o tubo e o flange do Spool-2D.

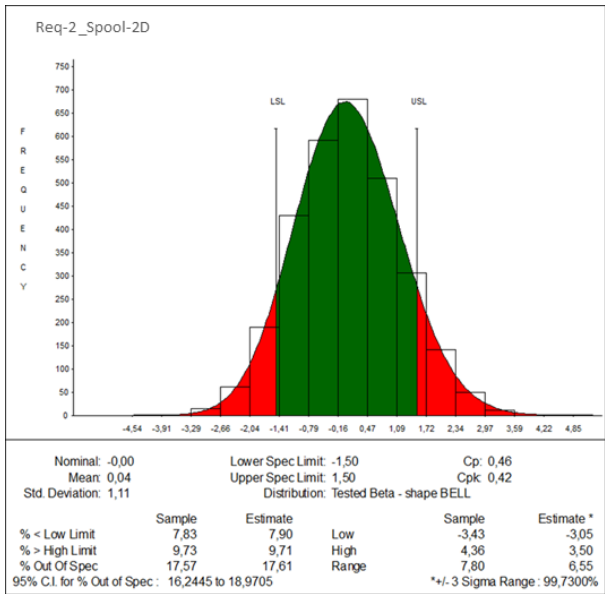


Figura 6. Alinhamento da junção do *spool* de teste.

A peça curva, um dos componentes do *spool* de teste, traz algumas consequências negativas para o Req-2. Da Fig. 6, destaca-se que o processo apresenta $C_p = 0,46$ e a estimativa do percentual da amostra fora da especificação foi de aproximadamente 17,6%. Ao adicionar uma curva ao *spool*, o controle da sua orientação é fundamental para assegurar o atendimento ao requisito, ainda que o flange não seja soldado diretamente na curva. Para o Req-2 do Spool-2D, o principal contribuinte para a variação total é a orientação da curva, que causa quase 30% de impacto na variação total. De acordo com os resultados obtidos, a distribuição está centrada ($C_p = 0,42$), mas a variação é maior que a faixa dos limites de tolerância.

A Fig. 7 apresenta o resultado obtido para simulação do Req-3, que se refere ao ângulo de inclinação do flange em relação à linha de centro da tubulação.

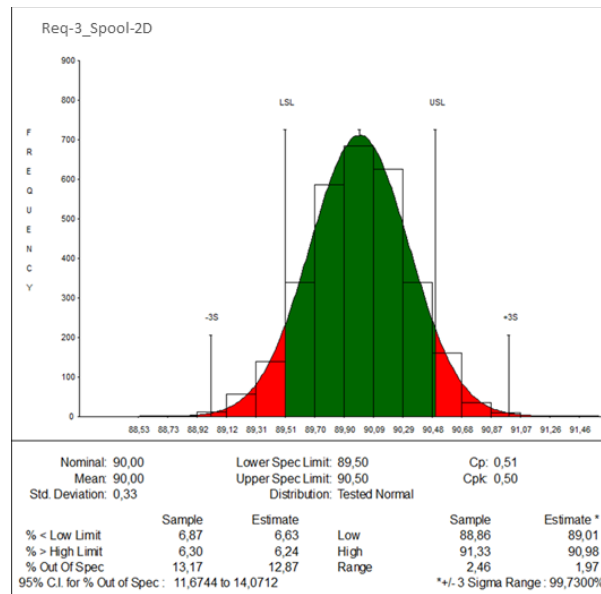


Figura 7. Ângulo de inclinação do *spool* de teste.

Da Fig. 7 destaca-se que o processo apresenta $C_p = 0,51$ e o percentual estimado da amostra fora da especificação foi de aproximadamente 12,9%. No Req-7, a orientação da curva contribui em aproximadamente 45%, o que representa um agente significativo para variação total. De acordo com os resultados obtidos, a distribuição está centrada ($C_p \cong C_{pk}$), mas a variação é maior que a faixa definida pelos limites de tolerância.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com a simulação de variações suscitam, para além das informações quantitativas a respeito da capacidade do processo e dos principais agentes de contribuição para variação, que o cumprimento das tolerâncias dimensionais e geométricas contidas em normas vigentes de projeto e fabricação não é o suficiente para assegurar o atendimento a alguns requisitos. Ainda, a sequência de montagem estabelecida pode dificultar ou inviabilizar a montagem de um componente, em função do acúmulo de variações na medida em que os componentes de um *spool* são unidos através do processo de soldagem caracterizado por juntas tipo topo.

As simulações apresentadas neste trabalho despertam maior interesse nos fabricantes de tubulações industriais, pois, neste caso, o *spool* é tratado como um produto final. No entanto, é essencial que se estabeleça na fábrica a percepção sobre a importância do controle e compreensão das variações, a fim de garantir a qualidade geométrica do *spool* como unidade, na perspectiva de assegurar a integridade da linha de tubulações. A linha, de fato, é o conjunto de *spools* montados responsável pelo transporte de fluidos.

Por fim, de posse de um gêmeo digital para garantia da qualidade geométrica, a unidade de fabricação pode conhecer a capacidade do processo e, diante dos índices obtidos, propor alterações de projeto. Os *spools* são unidades customizadas, com possibilidades distintas de geometria e, portanto, é possível alterar, melhorar ou validar o projeto, à luz da garantia da geometria. Dessa forma, a aprovação de um modelo para etapa de manufatura pode ser balizada pelo gêmeo digital, evitando alterações tardias, retrabalhos e desperdícios.

6. REFERÊNCIAS

- ALBERTAZZI, A.; SOUZA, A. R. D. Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial. 2ª. ed. [S.l.]: Manole, 2018.
- FERNANDES, T.L., 2020. Simulação de Variações na Garantia da Qualidade Geométrica de Tubulações Industriais. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- FRANKEL, A. Siemens PLM - The Real Value of the Digital Twin. YouTube - Siemens Software, 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=gK5sHDfBMP4>>. Acesso em: 10 março 2021.
- PENG, L.-C.; PENG, T.-L. Pipe Stress Engineering. Texas: ASME Press, 2009.
- ROSEN, R. et al. About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing. ScienceDirect IFAC-PapersOnLine, vol. 48, n. 3, 2015. 567-572.
- ROY, R. et al. Continuous maintenance and the future - Foundations and technological challenges. CIRP Annals, 65, n. 2, 2016. 667-688.
- SCHLEICH, B. Skin Model Shapes: A new Paradigm for the Tolerance Analysis and the Geometrical Variations Modelling in Mechanical Engineering. Friedrich-Alexander-Universität. Erlangen - Nürnberg, 2017.
- SCHLEICH, B. et al. Geometrical Variations Management 4.0: towards next Generation Geometry Assurance. Procedia CIRP. Milão: Elsevier, 2018. p. 3-10.
- SÖDERBERG, R. et al. Virtual Geometry Assurance Process and Toolbox. Procedia CIRP. Gotemburgo: Elsevier, 2016. p. 3-12.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

GEOMETRY QUALITY ASSURANCE FOR INDUSTRIAL PIPING IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0

Thiago Linhares Fernandes

Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (CERTI)
thf@certi.org.br

Crhistian Raffaelo Baldo

Universidade Federal do ABC (UFABC)
crhistian.baldo@ufabc.edu.br

Tiago Muner Zilio

Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (CERTI)
tmz@certi.org.br

Gustavo Daniel Donatelli

Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (CERTI)
gd@certi.org.br

Abstract. *The concept of Industry 4.0 and its enabling technologies have driven the digital transformation of manufacturing, connecting physical and virtual systems. In this sense, the piping industry (spools) can make use of technologies that, based on the computer and connected by the internet, provide more value to the processes. In this work, the use of a digital twin to assurance the geometric quality of industrial pipes is explored. Therefore, data is collected, stored and structured in a product life cycle management environment. From these data, a valid and comprehensive representation of the geometry of a spool-test and its components was created, enabling the construction of a model of analysis of variations, in order to predict the quantities and causes of variation. The results obtained raise the possibility of adopting a virtual entity to assurance the geometric quality of industrial pipelines, enabling the increase in the integrity of the spools.*

Keywords: Geometry assurance., Variation analysis, Industry 4.0, Digital twin, Piping industry.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.